

*д.т.н. Должиков П.Н.,  
Корсаков Д.В.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

## **ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЛИКВИДАЦИИ ПРОВАЛА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НАД ГОРНОЙ ВЫРАБОТКОЙ**

*По проведенним інструментальним дослідженням процесів зрушення порід на полях закритих шахт отримана критеріальна функція і розроблен стенд для моделювання ліквідації провалів земної поверхні, встановлені закономірності деформації закладочного масиву*

**Ключові слова:***провалля, тампонаж, масив, деформація.*

*По проведенным инструментальным исследованиям процессов сдвижения пород на полях закрытых шахт получена критериальная функция и разработан стенд для моделирования ликвидации провалов земной поверхности, установлены закономерности деформации закладочного массива.*

**Ключевые слова:***провал, тампонаж, массив, деформация.*

**Постановка проблемы.** Добыча полезных ископаемых подземным способом привела к образованию региональных образований, характеризующихся изменением прочностных свойств пород; наличием в массиве горных пород пустот от очистных, подготовительных и капитальных выработок и связанных с этим изменения гидрогеологической ситуации.

Закрытие горных предприятий «мокрым» способом привело к поднятию уровня подземных вод, к изменению геодинамического состояния ранее осушаемого горными работами массива и формированию геологических рисков для городских, промышленных территорий. В результате чего возникает реальная угроза подтопления застроенных территорий; возобновления и активизации процессов сдвижения горных пород над очистными выработками, образованием провалов земной поверхности [1].

Провалы – довольно частое явление в районах с развитой горнодобывающей промышленностью, а также на территориях, имеющих развитую подземную инфраструктуру. Они могут быть связаны с суффозионными процессами и другими причинами. Провалы внезапны, на их месте образуются воронки диаметром до 3 – 5 м и более, а на поверхности возникают необратимые деформации. Провалы представляют

опасность для жизни людей, нормальной эксплуатации зданий и сооружений [2,3].

Снижение вредного влияния закрытия шахт и выбор рационального способа ликвидации провалов земной поверхности является важной проблемой, успешное решение которой в значительной степени зависит от изученности процесса развития провалов земной поверхности, основанных на детальном изучении его характера, особенностей и определяющих факторов. Использование этих данных на стадии планирования и проектирования ликвидационных работ с учётом качественных и количественных особенностей горно-геологических условий и горно-технических факторов, в конечном итоге, направлено на повышение эффективности погашения горных выработок [4].

Вышеуказанное свидетельствует об актуальности решаемой в работе задачи определения параметров провалов земной поверхности при изменении гидрогеологических условий на полях закрытых шахт.

**Целью данной работы** является исследование процесса деформации закладочного массива при ликвидации провалов земной поверхности методом послойного тампонирувания.

Решение данной задачи разделяем на два этапа. На первом этапе проводим инструментальные исследования провалов земной поверхности на территории горных отводов закрытых угольных шахт Луганской области для установления закономерностей активизации сдвижения горных пород и образования провалов при затоплении [2]. Данные, полученные на первом этапе исследований, являются основанием для проводимого на втором этапе физического моделирования процесса ликвидации провалов земной поверхности с применением ресурсосберегающих тампонажных растворов.

Проведенные натурные наблюдения за сдвижением земной поверхности служат исходной базой для моделирования процессов ликвидации провалов земной поверхности.

Цель моделирования заключается в получении качественных и количественных характеристик процессов деформирования засыпочно-го материала, для оценки эффективности принятого способа ликвидации провала.

При проведении лабораторных экспериментов по моделированию ликвидации провала информационными параметрами являются скорость и величина оседания засыпочно-го материала, итоговая несущая способность образованного массива.

Ликвидация провала выполняется ступенчато методом послойной засыпки на высоту  $h = h_2 + h_1$ , где  $h_1$  – высота тампонажного раствора, причем  $h_1 = \Delta h_3$  – усадка материала засыпки, то есть абсолютная деформация второй зоны первой ступени (рисунок 1).

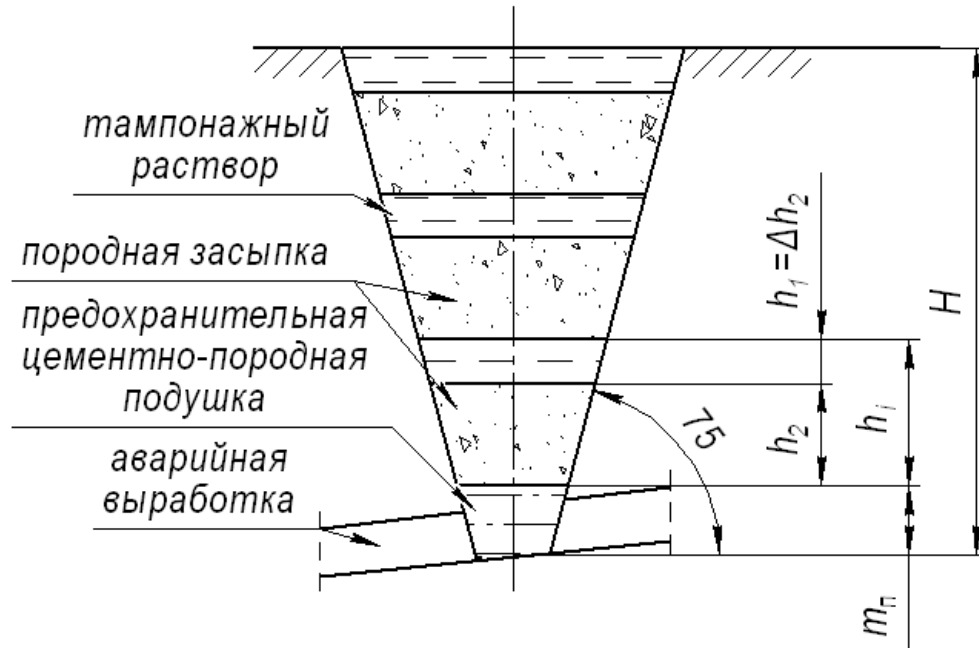


Рисунок 1 – Схема ликвидации провала над горной выработкой

Исходя из технологии производство работ число ступеней равно целому числу, а диаметр тампонажного кольца равен

$$d_i = D \frac{h_i}{h}$$

В общем случае:  $h_i = h_2 + h_1 = \frac{H}{n}$ , где  $i$  – номер ступени,  $n$  – число ступеней.

Следовательно:

$$d_i = D \frac{h_i}{h}$$

Заметим, что за основную характеристику провала принимаем нижний диаметр  $d$ , верхний диаметр провала определяем по формуле:

$$D = d + 2h \operatorname{ctg} \alpha.$$

Для составления функции деформационного процесса учтем наиболее важные физические величины преобладающего действия. Получили следующую функцию деформационного процесса:

$$\varphi(\Delta h_2, t, q_c, E, h, d) = 0,$$

исходя из которой используя  $\pi$ -теорему получаем критериальную функцию

$$\Phi\left(\frac{d}{h}, \frac{tv}{dW}, \frac{Ed^2}{q_c}\right) = 0,$$

где  $t$  – время деформации,  $q_c$  – общая нагрузка на материал засыпки,  $E$  – модуль деформации пород засыпки;  $W$  – влажность,  $h$  – высота ступени засыпки.

На основе полученных критериев подобия был разработан стенд (рисунок 2), при помощи которого можно с достаточной точностью производить моделирование усадки закладочного материала под действием увлажнения и пригруза от вышележащего слоя

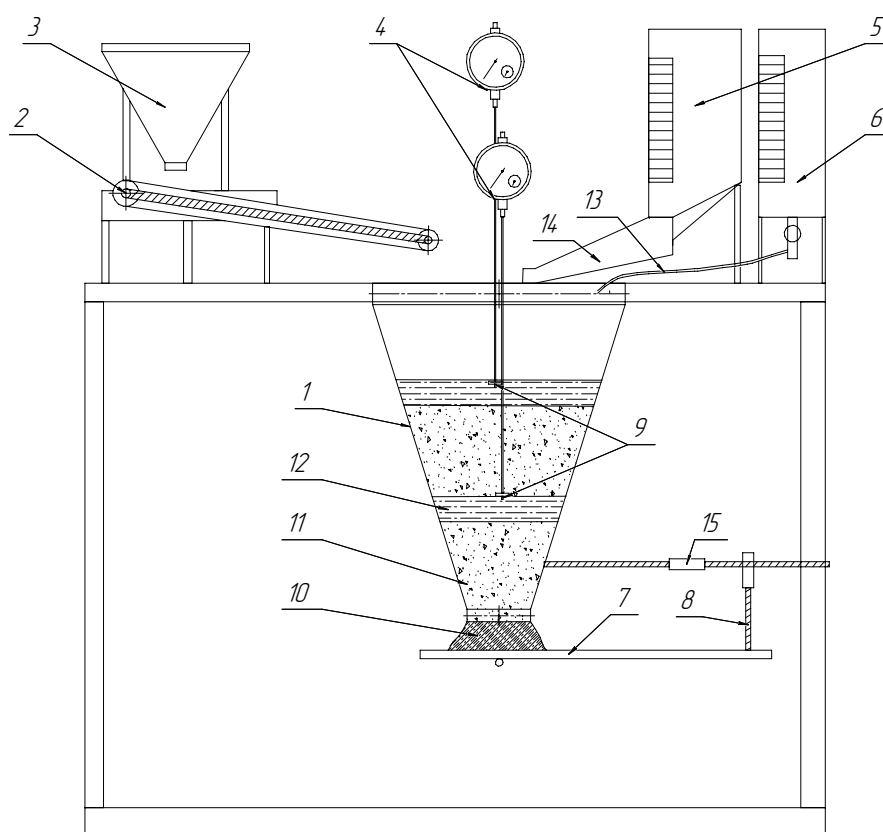


Рисунок 2 – Конструкция экспериментального стенда

Стенд работает следующим образом. Относительно модели провала 1 устанавливается имитатор почвы выработки 7 с зазором 6 см. С помощью регулятора 8 имитируется угол наклона выработки в вертикальной плоскости. С помощью регулятора 15 задается направление оси провала.

Для предотвращения ухода тампонажного материала в подземную выработку 7 в устье модели провала 1 сооружаем опорную подушку 10 из глиноцементного раствора с повышенным содержанием цемента.

После набора необходимой прочности подушки 10, на нее укладывают слой горелой породы 11, толщина которого зависит от ее прочностных и компрессионных свойств. Имитация укладки породы проводится с помощью питающего конвейера 2 из породного бункера 3. Для ускорения процесса усадки перегорелой породы при засыпке производят ее дополнительное увлажнение из резервуара 6.

После этого провал заливают в безнапорном режиме безусадочным глиноцементным тампонажным раствором, основе этой же породы, из приемного резервуара 5.

В результате, получаем ускорение процесса усадки закладочного материала под действием увлажнения и пригрузки вышележащего слоя.

На границах слоев 11 и 12 закладываются измерительные марки 9 для контроля процесса усадки закладочного материала и деформации тампонажных слоев с помощью индикаторов часового типа ИЧ10.

В качестве материалов для проведения экспериментов были использованы породы отвала шахты «Романовская» (бывшая шахта «Украина» ГП «Луганскуголь»). Проведенные исследования по определению физико-механических и деформационных свойств отвальных пород показали значительный разброс параметров, зависящих от гранулометрического состава образцов. Принимая во внимание технологические и деформационные требования к закладочному массиву, для дальнейших исследований были приняты фракции породы крупностью до 2.5 мм.

Исследования свойств растворов, на основе отвальных пород, показали, что для достижения пластической прочности 0,3 МПа достаточно ввести  $40 \text{ кг/м}^3$  цемента марки М400 (рисунок 3).

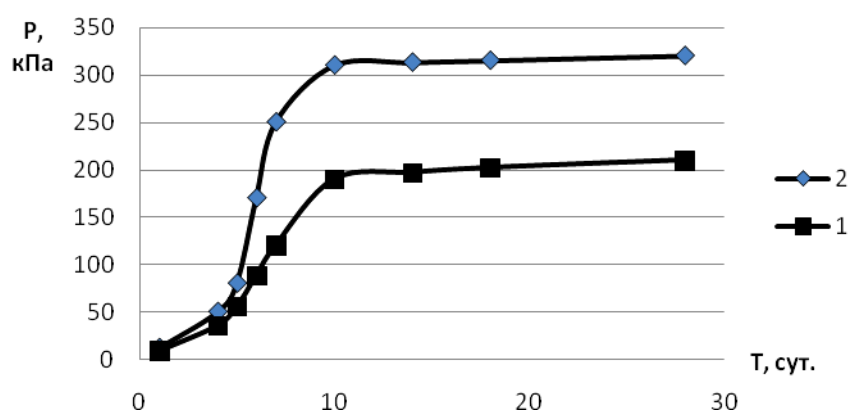


Рисунок 3 – Изменение пластической прочности тампонажного раствора во времени от количества введенного цемента 1 –  $20 \text{ кг/м}^3$ ; 2 –  $40 \text{ кг/м}^3$

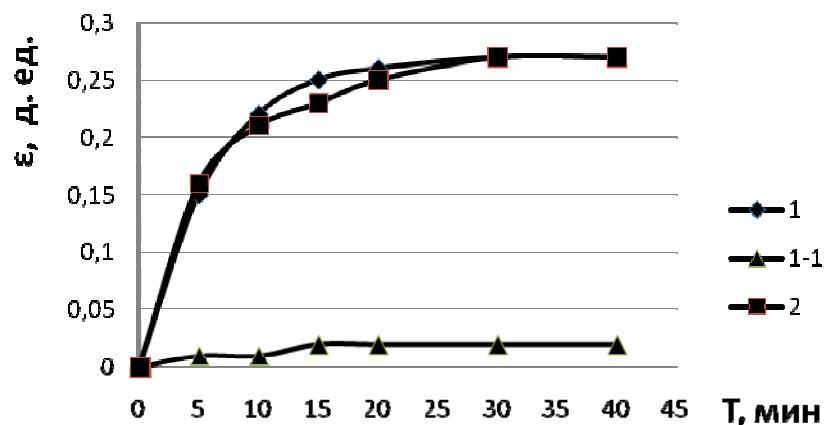


Рисунок 4 – Результаты моделирования процессов деформирования материала породной засыпки

- 1 – относительная деформация первого слоя засыпки;  
 1-1 – деформация первого слоя засыпки после укладки второго слоя; 2 – деформация второго слоя засыпки.

Моделирование процесса ликвидации провала с использованием увлажнения закладочных материалов и дополнительного пригруза показало быстрое уплотнение закладочного массива (до 92% от общего уплотнения за 15 минут). Дополнительные деформации первой ступени от засыпки последующих ступеней засыпки не превышали 1-2% (рисунок 4).

#### **Выводы.**

Результаты натурных исследований позволили выявить основные факторы влияющие на процесс деформации закладочного массива и определить функцию деформационного процесса, а также разработать экспериментальный стенд, для моделирования процесса ликвидации провалов.

Результаты моделирования процесса усадки закладочного материала показали что формируется устойчивая слоистая система с относительной деформацией  $\epsilon < 2\%$ .

Введение в глинопородную суспензию цемента в количестве  $40 \text{ кг/м}^3$  позволяет получить достаточную пластическую прочность тампонажного слоя 320 кН.

Проведенные исследования позволили обосновать высокую эффективность применения при ликвидации провалов земной поверхности способа послойного тампонирувания на основе суспензий горелых отвалных пород и глинопородных тампонажных растворов с добавками цемента.

### **Библиографический список**

1. Техногенные последствия закрытия угольных шахт Украины / [Гавриленко Ю.Н., Ермаков В.Н., Кренида Ю.Ф. и др.]; под ред. Ю.Н. Гавриленко, В.Н. Ермаков. – Донецк, 2004. - 631с.

2. Геомеханические и технологические проблемы закрытия шахт Донбасса / Гребенкин С.С., Ермаков В.Н. [под ред. С.С. Гребенкина]. – Донецк: ДонНТУ, 2002.- 266с.

3. Должиков П.Н. Об экологической безопасности ликвидации выработок закрываемых шахт / Должиков П.Н. Рябичев В.Д. // Сб. науч. тр.: Состояние и перспективы развития Восточного Донбасса, ч.1. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2001. – С. 75-77.

4. Должиков П.Н. Анализ деформаций земной поверхности при гидроактивизации горных пород / П.Н. Должиков, Д.В. Корсаков // Сб. науч. трудов ДонГТУ №32. – Алчевск: ДонГТУ, 2010. - С.125-130.

5. Комплексная технология ликвидации наклонных выработок: монография / [Кипко Э.Я., Должиков П.Н., Рябичев В.Д.]. – Донецк: Норд-Пресс, 2005. – 220с.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. Гайко Г.И.*